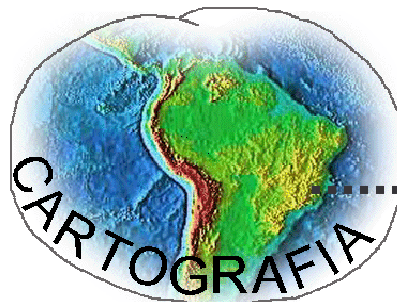


Geraldo Alves Rodrigues

Identificação e espacialização das
Sub-bacias de maior potencial
erosivo na Bacia Hidrográfica da
lagoa de ibirité - MG

VII Curso de Especialização em Geoprocessamento
2004



UFMG
Instituto de Geociências
Departamento de Cartografia
Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha
Belo Horizonte
cartog@igc.ufmg.br

GERALDO ALVES RODRIGUES

Identificação e espacialização das Sub-bacias de maior potencial erosivo, na Bacia Hidrográfica da lagoa de Ibirité – MG

Monografia apresentada ao curso de Pós-Graduação (especialização) em Geoprocessamento do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais.

Orientador: Britaldo Silveira Soares Filho

BELO HORIZONTE
2004

Rodrigues, Geraldo Alves

Identificação e espacialização das Sub-bacias de maior potencial erosivo, na Bacia Hidrográfica da lagoa de Ibitaré – MG/ Geraldo Alves Rodrigues – Belo Horizonte, 2004.

v, 32 f.: il.

Monografia (Especialização) – Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências. Departamento de Cartografia, 2004.

Orientador: Britaldo Silveira Soares Filho

1. Geoprocessamento 2. Análise ambiental 3. Assoreamento. I. Título.

AGRADECIMENTOS

A minha Esposa e meus Filhos, por suportarem mais este período de minha pouca presença.

A REGAP – Refinaria Gabriel Passos, na pessoa do Gerente Geral Sylvestre de Vasconcelos Calmon, por proporcionar-me a participação em tão valoroso curso.

A Claudia Zanette, pela sugestão do tema.

Ao meu orientador Britaldo, que mesmo em meio a tantos afazeres, conseguiu tempo para a orientação.

Aos Mestres, especialmente Ana Clara e Maria Márcia, pela brilhante condução do curso.

Aos monitores Charles e Christian, verdadeiras tábuas de salvação.

A todos os Colegas de curso, pelo conhecimento compartilhado.

SUMÁRIO

LISTA DE SIGLAS.....	1
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	2
1 INTRODUÇÃO.....	3
2 PROCESSOS SEDIMENTOLÓGICOS E EROSÃO	4
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	4
4 OBJETIVOS.....	7
4.1 OBJETIVO GERAL.....	7
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
5 METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO	8
5.1 FLUXOGRAMA METODOLÓGICO	8
5.2 METODOLOGIA	9
5.3 CARACTERIZAÇÃO DOS DADOS UTILIZADOS PARA ANÁLISE	9
5.3.1 <i>Imagens de satélite.....</i>	<i>9</i>
5.3.2 <i>Modelo Digital de Elevação.....</i>	<i>10</i>
5.3.3 <i>Demarcação da Bacia Hidrográfica.....</i>	<i>10</i>
5.3.4 <i>Hidrografia</i>	<i>10</i>
5.3.5 <i>Classificação de uso do solo.....</i>	<i>12</i>
5.4 FERRAMENTAS E SOFTWARES UTILIZADOS	14
6 REALIZAÇÃO DAS ANÁLISES.....	15
6.1 MAPAS GERADOS NO IDRISI A PARTIR DOS DADOS DISPONÍVEIS	15
6.2 MACRO DO IDRISI COM AS OPERAÇÕES REALIZADAS	22
6.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	23
7 CONCLUSÃO	24
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

LISTA DE SIGLAS

CETEC	Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais
COPAM	Conselho de Política Ambiental
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
FEAM	Fundação Estadual de Meio Ambiente
IBIRITERMO	Usina Termoelétrica de Ibité
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
PETROBRAS	Petróleo Brasileiro S/A
REGAP	Refinaria Gabriel Passos
RIMA	Relatório de Impacto Ambiental
SMS	Segurança, Meio Ambiente e Saúde
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
UTE	Usina Termelétrica

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Fig. 1 – Fluxograma metodológico	8
Fig. 2 – Hidrografia e demarcação da bacia hidrográfica sobre a imagem da região	11
Fig. 3 – Classificação de uso do solo da região da bacia hidrográfica demarcada	14
Fig. 4 – Mapa das sub-bacias	15
Fig. 5 – Mapa de declividade	16
Fig. 6 – Mapa de classes de declividade	17
Fig. 7 – Mapa de graus de proteção	18
Fig. 8 – Mapa de potencial erosivo – 25 variações	20
Fig. 9 – Mapa de potencial erosivo – 5 classes	21
Fig. 10 – Mapa de potencial erosivo por sub-bacia.....	22
Fig. 11 – Macro do Idrisi com as operações realizadas	23

1 INTRODUÇÃO

Os lagos e lagoas são acidentes geográficos extremamente frágeis, fadados ao lento e contínuo processo natural de assoreamento que leva à redução dos seus espelhos d'água e ao seu completo desaparecimento.

Nesse processo, que pode durar algumas centenas ou milhares de anos, dependendo do tipo de solo e de rochas existentes no entorno bem como do tipo de vegetação circundante, são determinantes, da maior ou menor aceleração do assoreamento, as características e origem dos cursos ou fontes d'água que os alimentam.

O assoreamento é resultado dos processos erosivos, causados pelas águas, ventos e processos químicos, antrópicos e físicos que desagregam os solos e rochas formando sedimentos que serão transportados e depositados (Cardoso, 2004).

O assoreamento não é um fenômeno moderno. O processo é tão velho quanto a nossa terra. Nestes bilhões de anos os sedimentos foram transportados nas direções dos mares, assoreando os rios e seus canais, formando extensas planícies aluvionares, deltas e preenchendo o fundo dos oceanos. Incontáveis bilhões de metros cúbicos de sedimentos foram transportados e depositados.

As principais causas da aceleração do assoreamento de rios, ribeirões, córregos, lagos, lagoas e nascentes estão relacionadas aos desmatamentos, tanto das matas ciliares quanto das demais coberturas vegetais que, naturalmente, protegem os solos. A exposição dos solos para práticas agrícolas, exploração agropecuária, mineração ou para ocupações urbanas, em geral acompanhadas de movimentação de terra e da impermeabilização do solo, abrem caminho para os processos erosivos e para o transporte de materiais orgânicos e inorgânicos, que são drenados até o depósito final nos leitos dos cursos d'água e dos lagos (Cardoso, 2004).

A ação antrópica, por meio dos desmatamentos e exposições dos solos numa bacia de drenagem, pode ser devastadora para o delicado processo natural, transformando o tempo

geológico de sedimentação em uma corrida contra a sustentabilidade, provocando a morte dos belos cenários, gerados pela calma espelhada das águas represadas.

2 PROCESSOS SEDIMENTOLÓGICOS E EROSÃO

Segundo P.B.H.R.S.¹ (2001), os processos sedimentológicos que ocorrem nos sistemas fluviais resultam da interação de diversos mecanismos, fundamentalmente associados à ocorrência e movimento da água na interface entre a litosfera e a atmosfera. Os mecanismos e a interação das diferentes variáveis e fatores responsáveis é complexa.

Em termos simplistas, os processos correspondem ao encadeamento e sucessão temporal de mecanismos de erosão, transporte e deposição de sedimentos em que o principal agente nos fluxos energéticos e de transferência de quantidade de movimento é a água.

Entende-se por erosão a desagregação e o transporte de material - os sedimentos – com origem nos solos e rochas da litosfera, para além de uma dada fronteira. Para estimar a erosão ou perda de solo há que escolher o modelo de diagnóstico mais adequado, sendo preciso determinar os parâmetros que nele intervêm.

Neste trabalho, não é nosso objetivo estimar o volume de sedimentos produzidos e sim a localização e espacialização dos locais de maior contribuição no fornecimento de sedimentos e carreamento para a lagoa receptora.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A lagoa de Ibirité, mais conhecida como lagoa da Petrobras, é uma lagoa artificial construída em 1967 para atender a demanda da Refinaria Gabriel Passos – REGAP, uma das refinarias da Petrobras construída às margens da BR-381, entre Betim e Belo Horizonte, nessa mesma época.

⁽¹⁾ P.B.H.R.S. – Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Sado, Portugal, 2001.

A lagoa faz parte da bacia hidrográfica do Rio São Francisco, sub-bacia do Rio Paraopeba. Seus principais afluentes são o Ribeirão Ibirité e o Córrego Pintados. Suas características principais são:

- Área total (inicial): 3.358.920 m²
- Área total (atual): 2.837.777 m²
- Volume (inicial): 20.571.000 m³
- Volume (atual): 15.423 .000 m³
- Profundidade média: 16 m
- Classificação da qualidade das águas: Classe II (Classificação segundo a Deliberação Normativa COPAM 10/86. A Classe II inclui águas destinadas ao abastecimento doméstico, após tratamento convencional; à proteção das comunidades aquáticas; à recreação de contato primário (esqui aquático, natação e mergulho); à irrigação de hortaliças e plantas frutíferas; à criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana).

A área desapropriada para a construção dessa lagoa possuía, naquela época, baixa densidade populacional sendo formada por algumas fazendas e por terras de propriedade do próprio município de Ibirité. Com a entrada em funcionamento da Refinaria, as áreas no entorno passaram a ser rapidamente ocupadas pela população.

Desde a sua criação, a Lagoa de Ibirité é utilizada para recreação (banho e pesca artesanal) pelas comunidades vizinhas, vindo a tornar-se o principal ponto turístico e alternativa de lazer para a população do município e das cidades próximas.

A partir da década de 70 Ibirité passou a apresentar taxas elevadas de crescimento populacional, superiores às taxas médias da Região Metropolitana de Belo Horizonte, sem o correspondente crescimento no nível da atividade econômica. Esta combinação de fatores trouxe para o município – cuja economia é historicamente de base rural - as características típicas de uma “cidade dormitório”. Com isso o município vem enfrentando problemas decorrentes da urbanização desordenada (constituída na maior parte das vezes por loteamentos clandestinos) associada a investimentos insuficientes em infra-estrutura básica (saneamento, coleta de lixo, drenagem pluvial), os quais acabam por produzir impactos negativos, também na lagoa.

Ao longo das três últimas décadas a lagoa vem sofrendo os efeitos da ação antrópica no seu entorno e hoje se observa uma progressiva degradação das suas condições, com potencial tanto para afetar as comunidades vizinhas quanto para ameaçar a continuidade de seu uso como manancial para a REGAP e IBIRITERMO.

Alguns dos principais impactos sofridos pela lagoa:

- Ausência de tratamento de esgoto doméstico, com o conseqüente lançamento “in natura” na lagoa e seus afluentes, provocando, entre outros efeitos, a contaminação da lagoa por esquistossomose, a tendência à floração de cianobactérias (algas azuis) e o crescimento intensivo de aguapés (problemas agravados pela expansão da rede de esgotos no município sem qualquer investimento no tratamento do esgoto coletado);
- Coleta de lixo deficiente nos bairros situados às margens dos afluentes da lagoa, resultando no lançamento nos cursos d’água, pela população, de detritos que são subsequenteiramente carregados para a lagoa (lixo flutuante e submerso);
- Remoção descontrolada da cobertura vegetal devido à ocupação desordenada do solo, resultando no assoreamento da lagoa, na erosão devido à destruição das matas ciliares e no desaparecimento de nascentes.

Alguns estudos² sobre a lagoa estimam que a mesma já perdeu em torno de 30% do seu volume útil desde a sua construção, sendo que este processo tende a se acelerar com o aumento da ocupação populacional da região.

A ameaça ao desaparecimento da lagoa, além de ser um grave problema ambiental, representa um sério problema econômico. O reservatório d’água é responsável pelo abastecimento de duas grandes indústrias da região: a Unidade da Petrobras - Refinaria Gabriel Passos – REGAP e a Usina Termelétrica de Ibirité – IBIRITERMO. A Refinaria da Petrobras, além de ser o maior contribuinte da região no recolhimento de impostos, é responsável pelo abastecimento de combustíveis de 75% do estado mineiro, além de algumas regiões do Espírito Santo, São Paulo e Goiás.

⁽²⁾ – Monitoramento das águas superficiais e sedimentos na área de influência da Regap/Petrobras. Estudo realizado em 1995 pelo CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais.

Os sistemas produtivos dessas duas empresas (Termelétrica e Refinaria) funcionam em circuito fechado, ou seja, capta-se a água da lagoa para uso industrial e doméstico e devolve-se a ela os efluentes, após os processos de tratamento.

Alternativas ao abastecimento de água das empresas têm sido estudadas, sem que houvesse, até o momento, a identificação de uma fonte que pudesse servir ao propósito, com a mesma viabilidade econômica.

Torna-se assim, de suma importância identificar e espacializar as principais causas da aceleração desse assoreamento.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo Geral

Contribuir para a formulação de planos e políticas de preservação da lagoa de Ibirité, fornecendo subsídios para o combate ou controle das fontes de assoreamento.

4.2 Objetivos Específicos

Diversos estudos realizados em lagos e rios sobre o processo de assoreamento indicam que o que mais contribui para sua aceleração são as intervenções nos solos próximos ou em posição favorável ao carreamento de sedimentos para os corpos d'água e seus afluentes.

Assim, este trabalho pretende:

- Delimitar a área de influência do processo de assoreamento (Bacia Hidrográfica);
- Identificar o tipo de ocupação de solo no interior dessa Bacia Hidrográfica;
- Identificar e localizar espacialmente os pontos que estejam contribuindo mais para a geração de sedimentos, responsáveis pelo rápido assoreamento da lagoa de Ibirité;
- Avaliar possíveis formas de recuperação das áreas degradadas, orientando programas de educação ambiental, para a preservação da lagoa e sua bacia hidrográfica;

5 METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO

5.1 Fluxograma Metodológico

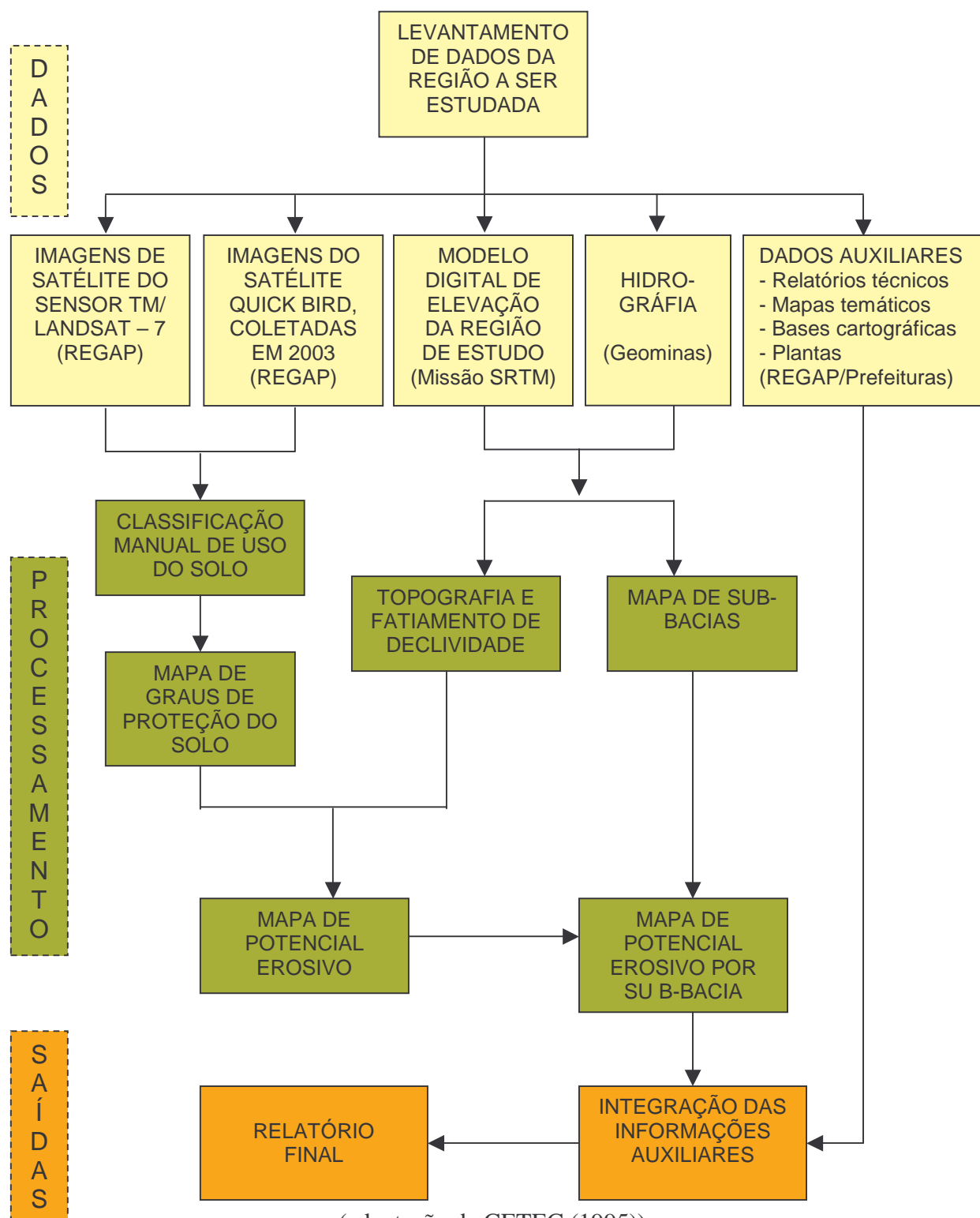


Fig. 1 - Fluxograma metodológico

5.2 Metodologia

A pesquisa em questão foi realizada com base no processamento e análise de dados existentes sobre a região tais como:

- relatórios de trabalhos técnicos já realizados (estudos batimétricos, estudos sócio econômicos, pesquisas etc.);
- imagens de satélite da região;
- mapa hidrográfico da região;
- mapa altimétrico da região.

Sabedor dos fatores que podem influenciam a geração e carreamento de sedimentos nos processos de assoreamento procurou-se analisar e identificar os pontos de maior contribuição para o fenômeno na área em questão, através do cruzamento de um conjunto de dados sobre a área estudada, a saber:

- Uso e ocupação do solo;
- Hidrografia;
- Modelo Digital de Elevação da área de estudo;
- Mapa de sub-bacias gerado a partir do MDE.

5.3 Caracterização dos dados utilizados para análise

5.3.1 Imagens de satélite

A imagem utilizada para o presente trabalho foi coletada em julho de 2003 pelo satélite *Quick Bird*. Foram utilizados 9 quadros em mosaico. Abaixo estão as informações principais sobre esta imagem e a figura 1 apresenta o mosaico das imagens utilizadas.

File Name: qbcolor_betim_407km2-recxx-8bits.tif
Last Modified: Fri Jul 18 15:46:54 2003
Number of Layers: 3

Projection Information :
Projection Zone : 23
Spheroid Name : WGS 84
Georeferenced to : UTM, Zone 23

Map Information :

Upper Left center X : 589716.510000

Upper Left center Y : 7795236.280000

Lower Right center X: 604286.380000

Lower Right center Y: 7780402.000000

Pixel X size : 0.600000

Pixel Y size : 0.600000

A imagem do satélite *Quick Bird* disponível não cobriu totalmente a área da bacia hidrográfica, sendo completada uma pequena área na sua região sul por uma imagem do satélite *Land Sat 7 TM*. A figura 2 mostra as imagens sobrepostas.

5.3.2 Modelo Digital de Elevação

Este modelo faz parte dos dados coletados pela Missão SRTM³ (*Shuttle Radar Topography Mission*) com resolução de 90 metros para a região estudada, disponível na Internet.

5.3.3 Demarcação da Bacia Hidrográfica

A bacia tem área total de 91,68 Km², estando entre as coordenadas UTM X1:590921,82 Y1:7794654,68 X2:603775,30 Y2:7779317,41, tendo sido demarcada manualmente através das curvas de nível originadas do plano altimétrico SRTM. A figura 1, mostra a área da bacia demarcada.



5.3.4 Hidrografia

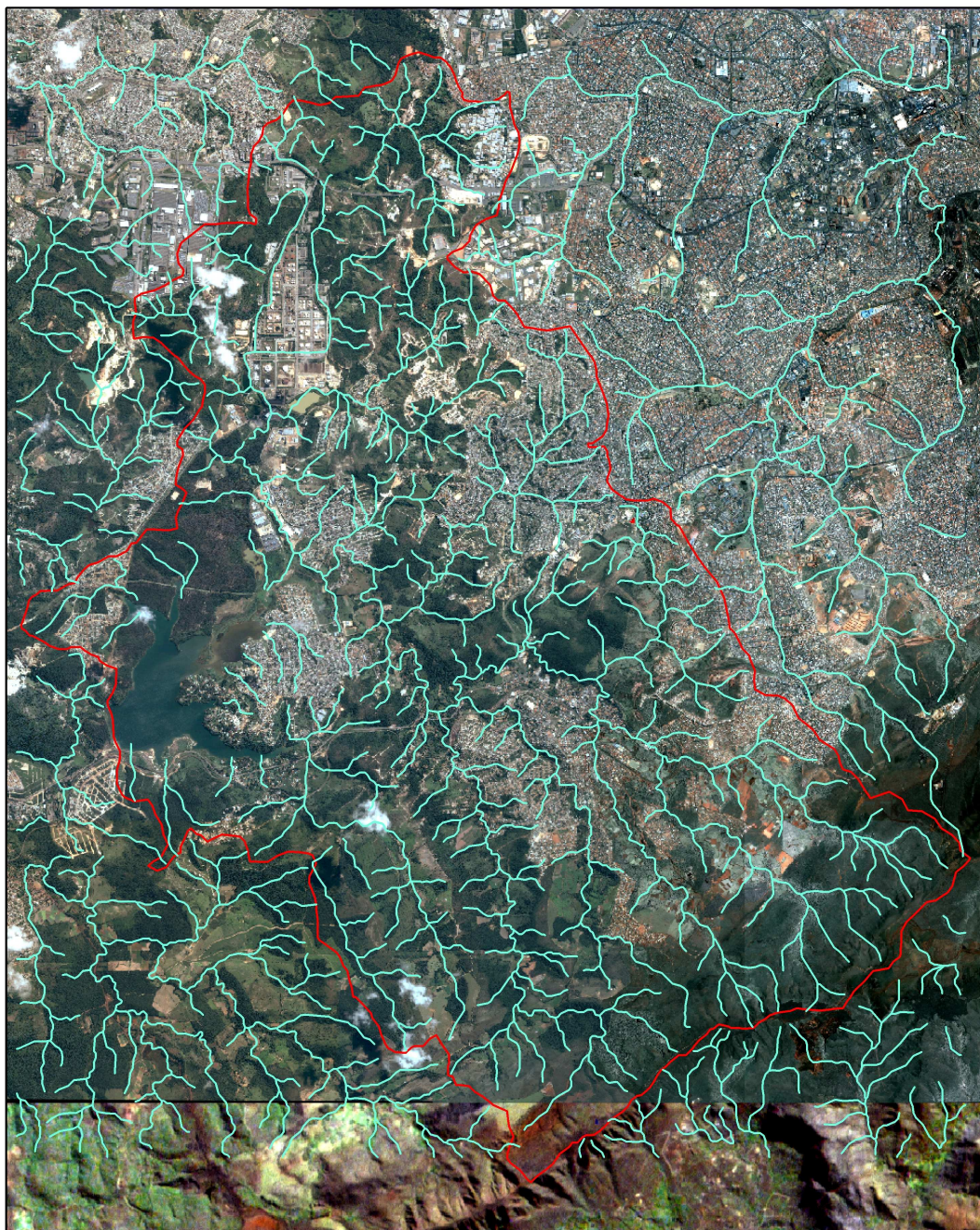
Foram utilizados os dados de hidrografia e drenagem da região, extraídos da base de dados do Geominas. A partir do software *Map Info 7.0*, foram gerados *shapes* para o *Arc-map 8.3*, onde estes dados foram trabalhados e em seguida foram geradas imagens raster com resolução de 10 metros por *pixel*, para utilização no *Idrisi*. A figura 1 mostra o mapa da hidrografia da região sobre a imagem de satélite.

⁽³⁾ <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm>

Hidrografia da região e demarcação da Bacia Hidrográfica

Legenda

-  Hidrografia
-  Bacia_hidrográfica




 Kilometers
0 1 2 4
1:80.000

Fig. 2 - Hidrografia e demarcação da bacia hidrográfica sobre a imagem da região

5.3.5 Classificação de uso do solo

Segundo ANTUNES et. al. (2001), enquanto o sensoriamento remoto teve nas últimas duas décadas um enorme progresso no que se refere à captação de imagens multiespectrais de média e alta resolução espacial, a vasta maioria de aplicações baseia-se em métodos de processamentos desenvolvidos no final dos anos 70. Assim, imagens produzidas pelos satélites mais modernos e de maior resolução (1 a 4 metros), carecem de uma ferramenta que realize a classificação automática dessas imagens, o que resultaria em informações mais detalhadas.

Alguns métodos de classificação digital têm sido aprimorados (ex.: lógica *fuzzy*, teoria da evidência, análise de incertezas, etc.), sendo que tal aprimoramento ocorreu em nível de *pixel*. Quando se considera uma resolução espacial mais alta torna-se provável que um determinado *pixel* possua características espectrais semelhantes às de seus vizinhos. Desta forma, os algoritmos de classificação devem ser baseados no contexto do *pixel*, ou seja, considerando-se a vizinhança.

O contexto espacial apresenta um modesto papel quando o processo de classificação baseia-se na categorização de *pixels* individuais. Estudos recentes mostram que esta limitação é bem menor quando o agrupamento de *pixels* vizinhos ou objetos são levados em consideração.

Na impossibilidade, para este estudo, de se usar ferramentas de classificação que trabalhassem, satisfatoriamente, com imagens de alta resolução e levando-se em conta que o uso de imagens de baixa resolução levaria à perda de detalhes importantes, optou-se pela classificação manual da região de estudo.

Utilizando o *software Arc Map - Arc View 8.3* com as imagens de satélite da área da Bacia Hidrográfica, demarcou-se os polígonos sobre as diversas classes consideradas.

Foram encontradas 18 categorias descritas a seguir:

1 - Assoreamento – áreas próximas a lagoa que já fizeram parte do espelho d'água e hoje estão assoreadas.

2 - Cultura_hortas – áreas de cultivo de hortaliças, onde é constante a movimentação do solo para os plantios e a irrigação artificial.

3 - Edifica_baixo_nível – áreas com ocupação populacional de baixo nível econômico caracterizado por residências humildes (barracos) vias sem pavimentação e não muito raro falta de serviços públicos (água e esgoto).

4 – Área_Industrial – áreas ocupadas por indústrias, pisos totalmente pavimentados ou cobertos por vegetação rasteira (grama). Quase sempre possuem drenagens bem dimensionadas e direcionadas para pontos ideais de coleta

5 - Edifica_res – áreas com ocupação populacional de nível médio, ruas pavimentadas e casas de um ou dois pavimentos.

6 - Edifica_baixa_dens – áreas com ocupação populacional de baixa densidade, lotes grandes com grandes áreas arborizadas e ou cobertas de vegetação (chácaras e fazendas).

7 - Loteamento_novo – áreas com lotes e ruas sendo abertos, muita movimentação de solo e casas sendo construídas.

8 - Mata_fechada – mata nativa com completo fechamento das copas das árvores

9 - Mata_media – mata nativa com alguns poucos espaços entre as copas das árvores, por onde se consegue visualizar a vegetação rasteira.

10 - Mata_rala – mata nativa com arvores bastante espaçadas - cerrado

11 - Mata_monocultura – áreas com plantio de árvores típicas de monocultura (eucalipto, pinheiro)

12 - Pasto – área coberta com vegetação rasteira com poucas árvores

13 - Pasto_ralo – área coberta com vegetação rasteira rala, deixando ver em alguns poucos pontos, áreas de solo exposto.

14 - Solo_exposto – solo exposto com pouca ou nenhuma cobertura vegetal (movimentações de solo, erosões, encostas sem vegetação).

15 - Via_pavimentada – pistas asfaltadas

16 - Água_lago – lagoas

17 - Água_reserv – reservatórios de água

18 - Água_rio – principais rios.

A figura 3 abaixo, apresenta a classificação do uso do solo, realizada na área da bacia.

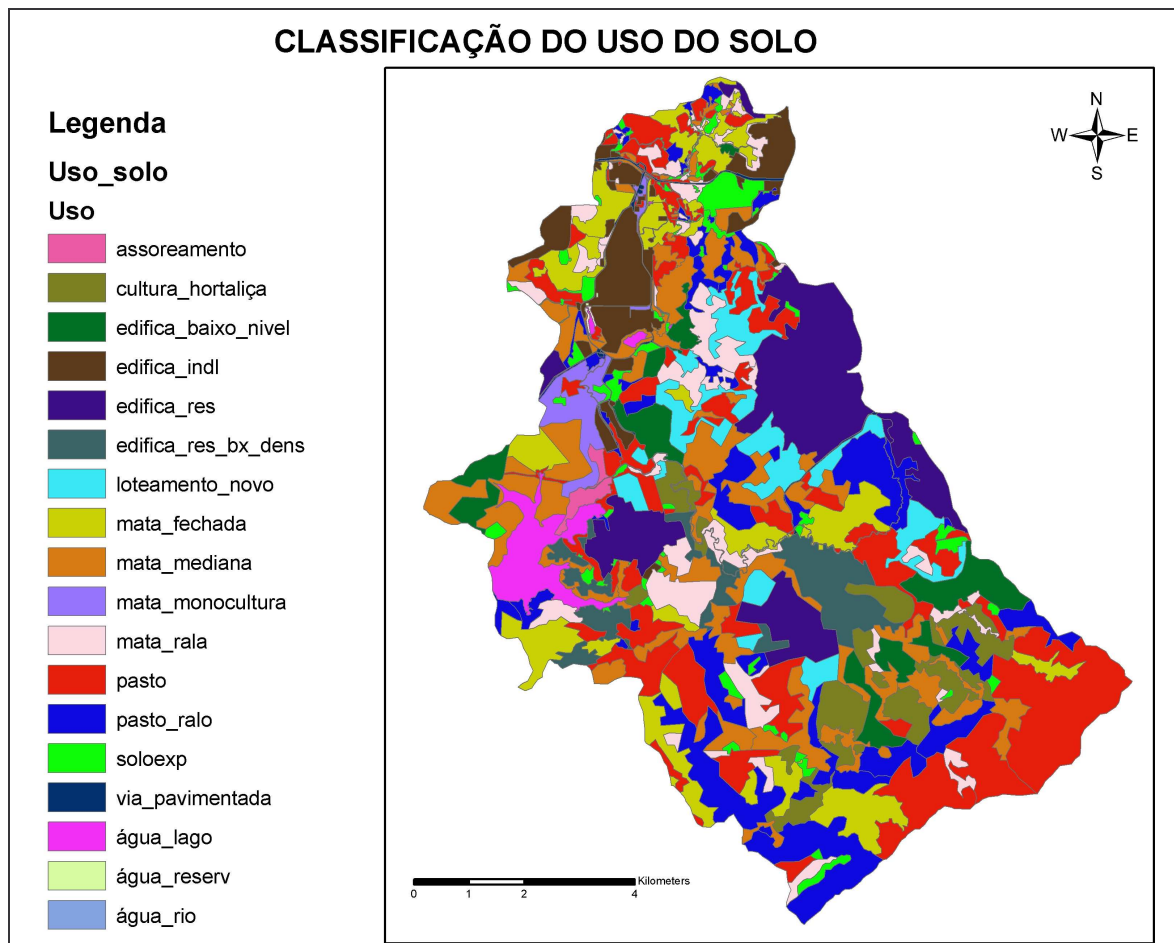


Fig. 3 - Classificação de uso do solo da região da bacia hidrográfica demarcada

Os dados de uso do solo, trabalhados no *Arc View*, foram utilizados para gerar imagens raster com resolução de 10 metros por *pixel*, que foram inseridas no software *Idrisi* para, juntamente com os demais dados, proceder à realização das análises.

5.4 Ferramentas e Softwares utilizados

Hardware

- Notebook IBM – Think Pad A31 - Pentium 4 – 1,6 GHz de clock, 256 MB de RAM e 40 GB de HD com sistema operacional *Windows XP Professional*.

Softwares

- *Map Info 7.0*

- Arc Map – Arc View 8.3

- Idrisi 3.2

- Microsoft Word XP

- Microsoft Excel XP

6 REALIZAÇÃO DAS ANÁLISES

6.1 Mapas gerados no Idrisi a partir dos dados disponíveis

A partir do modelo topográfico (SRTM) foi gerado pela função “*Watershed*”, um mapa de sub-bacias da Bacia Hidrográfica estudada. Utilizando como parâmetro um número máximo de 30.000 células, foram extraídas do Modelo Digital de Elevação 13 sub-bacias. A figura abaixo apresenta o resultado dessa operação.

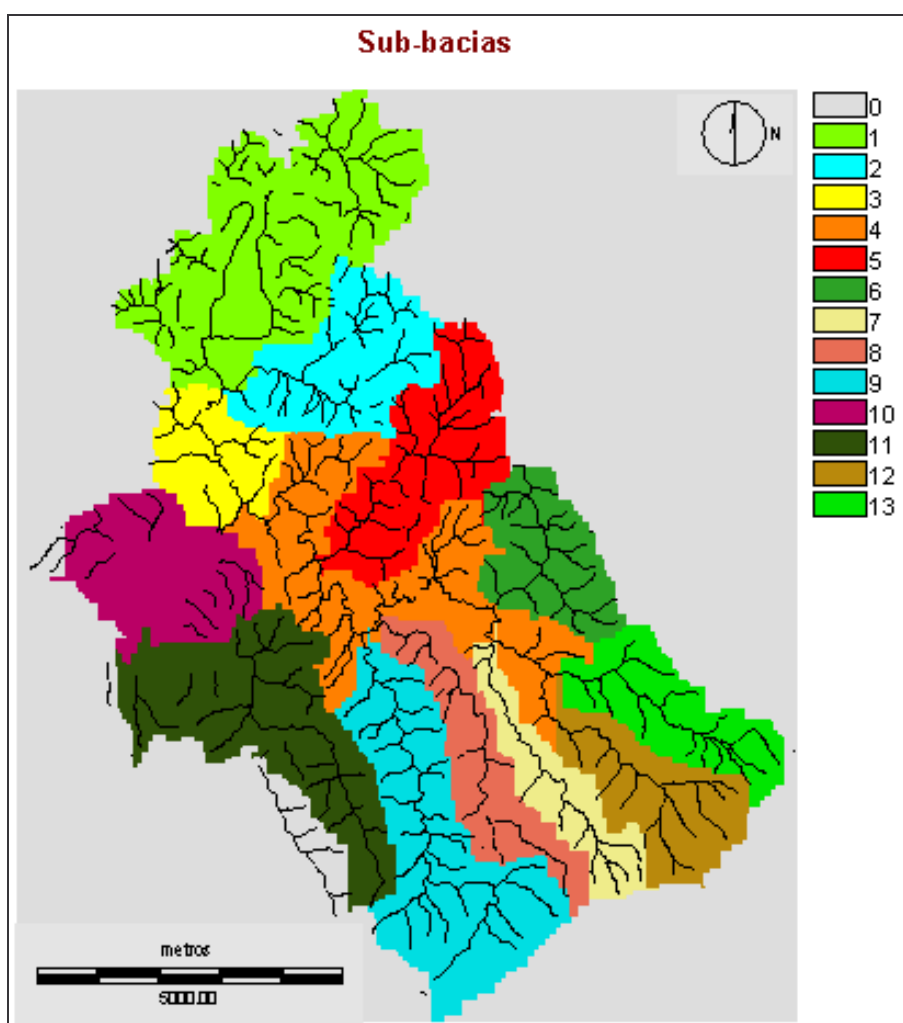


Fig. 4 - Mapa das sub-bacias

A partir do Modelo Digital de Elevação, foi gerado também o mapa de declividades. Foram encontradas declividades de 0 a 44%. O resultado pode ser visto na figura 5.

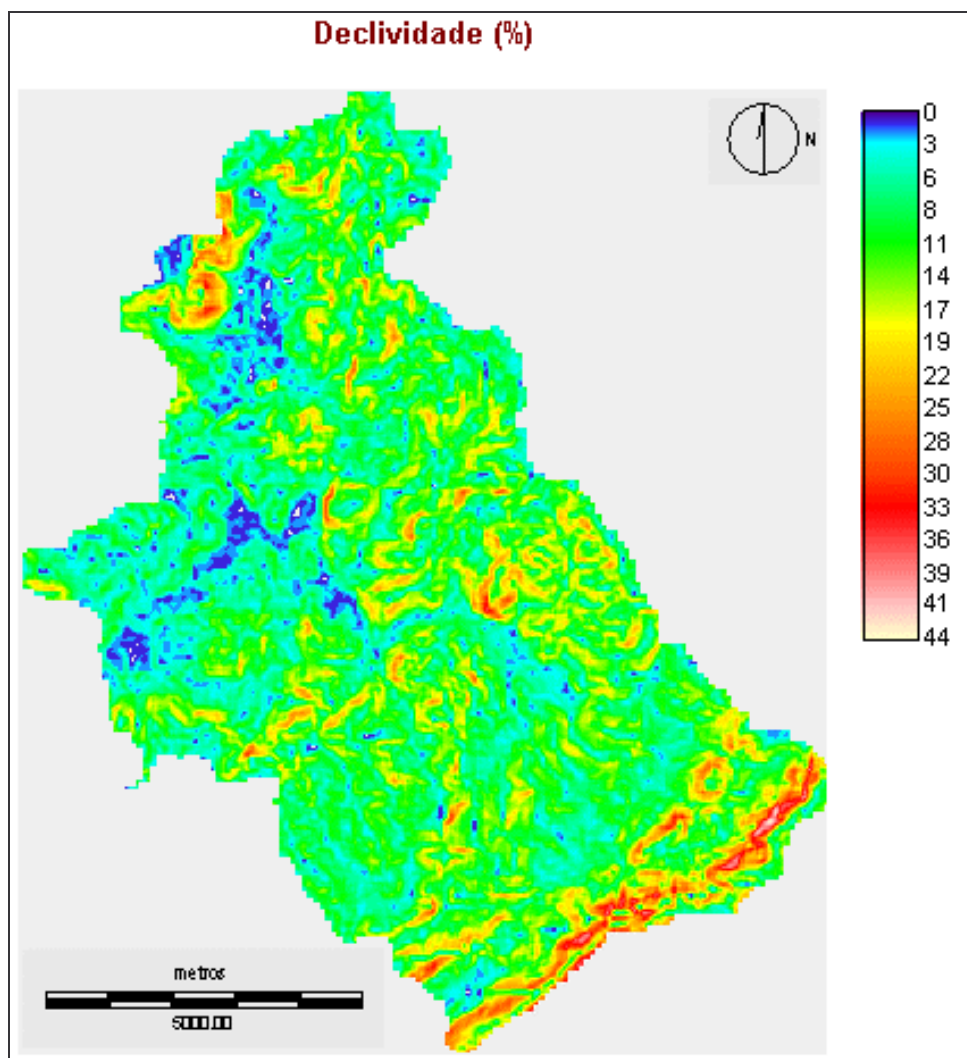


Fig. 5 - Mapa de declividade

Esta mesma imagem foi reclassificada no Idrisi, usando a tabela de valores a seguir. Foram definidas 5 classes de declividade, conforme se pode ver na tabela.

CATEGORIAS	%	graus	código
Muito Fraca	0% - 6%	0-5.14	1
Fraca	6% - 12%	5.14-10.8	2
Média	12%-20%	10.8-18	3
Forte	20% - 30%	18-27	4
Muito Forte	> 30%	>27	5

A reclassificação gerou o seguinte mapa:

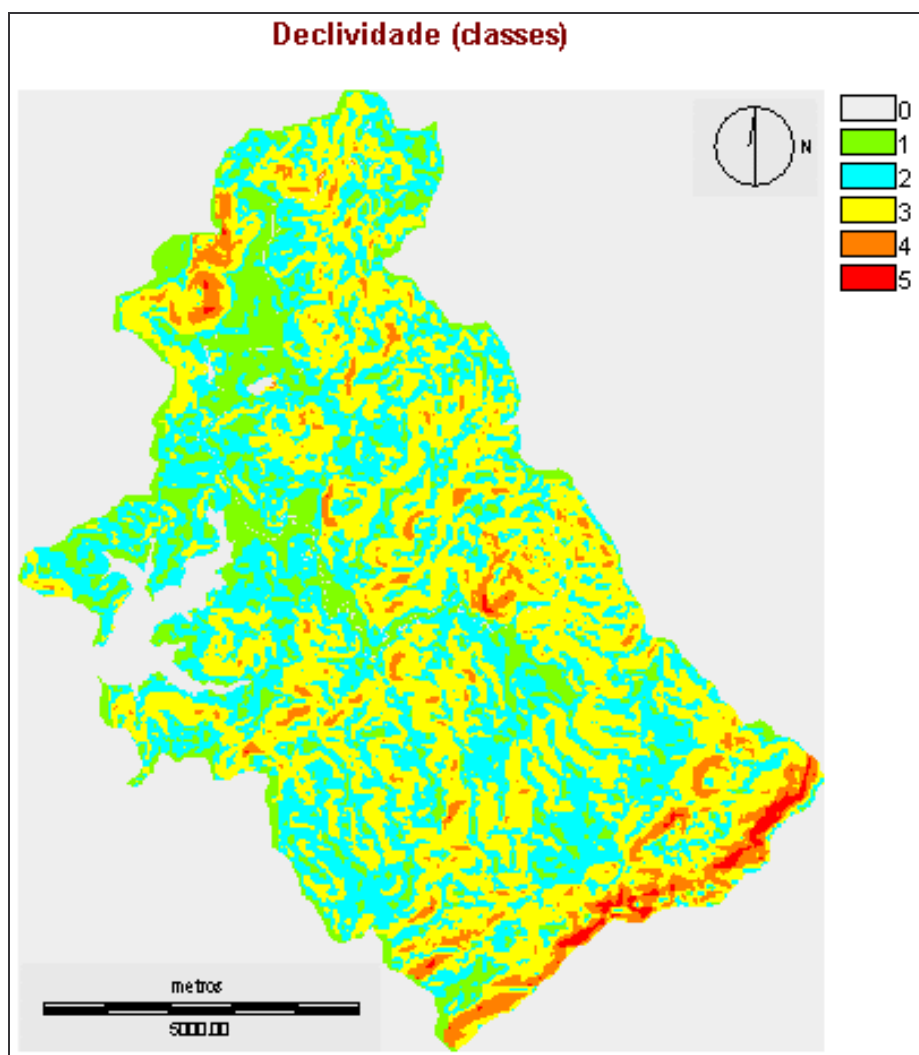


Fig. 6 - Mapa de classes de declividade

A partir do mapa de uso do solo, foi realizada a reclassificação atribuindo graus de proteção às classes identificadas. Gerou-se um mapa de graus de proteção com 5 classes, onde, quanto maior o grau de proteção, menor a contribuição daquela área com sedimentos.

classe	Ordem	grau de proteção
solo_exposto	5	1
loteamento_novo	15	1
edifica_baixo_nivel	10	2
Cultura_hortas	16	3
pasto	12	3
pasto_ralo	6	4
edifica_baixa_dens	18	4
edifica_residencial	2	4

classe	Ordem	grau de proteção
mata_monocultura	14	4
mata_rala	11	4
Mata_media	7	4
via_pavimentada	4	4
Area_industrial	8	5
mata_fechada	9	5
agua_rio	13	0
Assoreamento	17	0
agua_lago	1	0
agua_reserv	3	0

A reclassificação da imagem, através do *software Idrisi*, gerou o mapa de graus de proteção a seguir, sendo que o grau de proteção 1 = pouco protegido e o grau 5 = muito protegido:

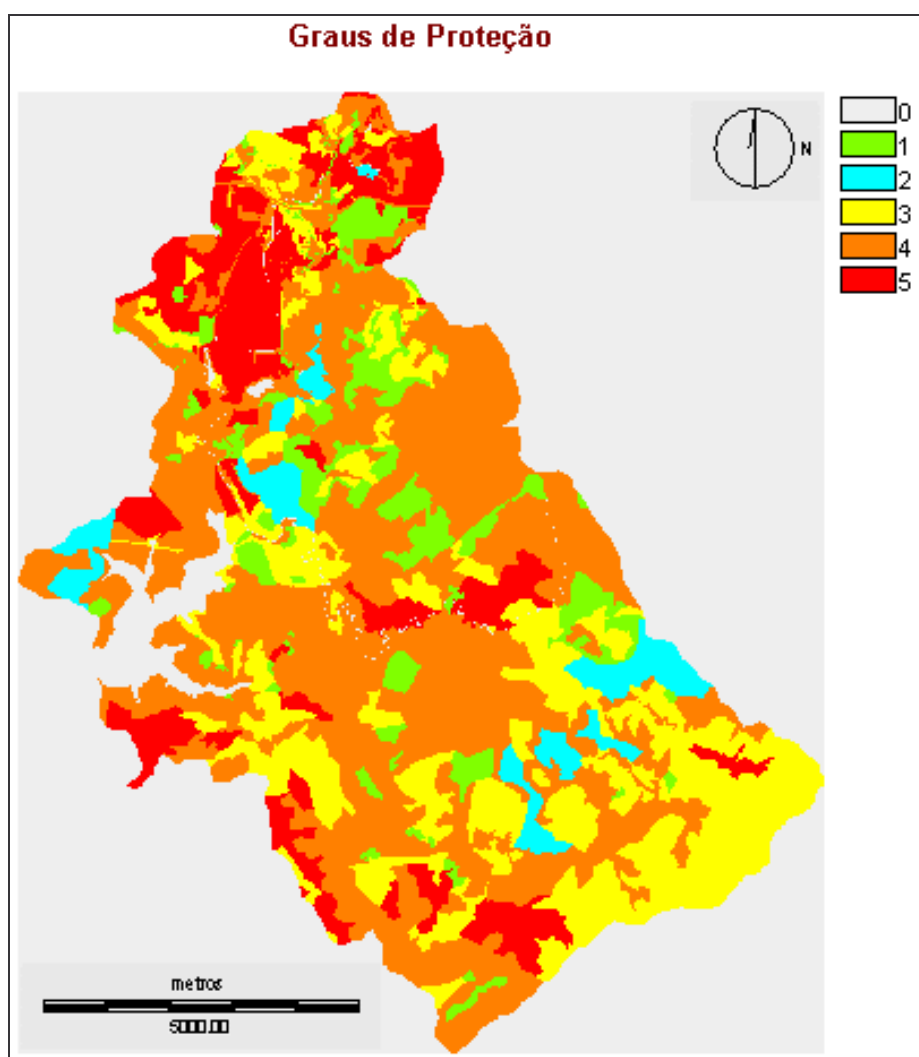


Fig. 7 - Mapa de graus de proteção

Foi realizada a tabulação cruzada entre os dois mapas: Fig. 6 – Classes de declividade e Fig. 7 – Graus de proteção. Esta tabulação gerou um mapa com 25 classes de potencial erosivo.

Veja a seguir a tabulação realizada:

Cross-tabulation of classes_decli (columns) against grau_prot (rows)

	0	1	2	3	4	5	Total
0	1085760	0	0	0	0	0	1085760
1	0	9316	29088	31441	2431	29	72305
2	0	6872	18601	17097	249	0	42819
3	0	24390	71007	88543	21174	5355	210469
4	0	57137	168794	185932	18026	485	430374
5	0	35245	40493	44611	10040	608	130997
Total	1085760	132960	327983	367624	51920	6477	1972724

Proportional Crosstabulation

	0	1	2	3	4	5	Total
0	0.5504	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.5504
1	0.0000	0.0047	0.0147	0.0159	0.0012	0.0000	0.0367
2	0.0000	0.0035	0.0094	0.0087	0.0001	0.0000	0.0217
3	0.0000	0.0124	0.0360	0.0449	0.0107	0.0027	0.1067
4	0.0000	0.0290	0.0856	0.0943	0.0091	0.0002	0.2182
5	0.0000	0.0179	0.0205	0.0226	0.0051	0.0003	0.0664
Total	0.5504	0.0674	0.1663	0.1864	0.0263	0.0033	1.0000

Tabela de cruzamento das variáveis Declividade e Grau de proteção

		declividade				
		1	2	3	4	5
grau de prot	1	11	12	13	14	15
	2	21	22	23	24	25
	3	31	32	33	34	35
	4	41	42	43	44	45
	5	51	52	53	54	55

As 25 variações de potencial erosivo que estão representadas na tabela acima, foram reclassificadas em 5 classes conforme as cores e valores atribuídos a cada cruzamento, onde, valores altos de proteção cruzados com valores baixos de declividade fornecem o menor potencial erosivo enquanto valores altos de declividade associados a baixa proteção resultam no maior potencial erosivo. Ver quadro a seguir:

Potencial Erosivo		1	2	3	4	5
5	1	2	3	4	5	6
4	2	7	8	9	10	
3	3	11	12	13	14	15
2	4	16	17	18	19	20
1	5	21	22	23	24	25

A seguir estão os mapas de potencial erosivo, apresentando as 25 variações de potencial erosivo após o cruzamento e o mapa reclassificado, com 5 classes apenas.

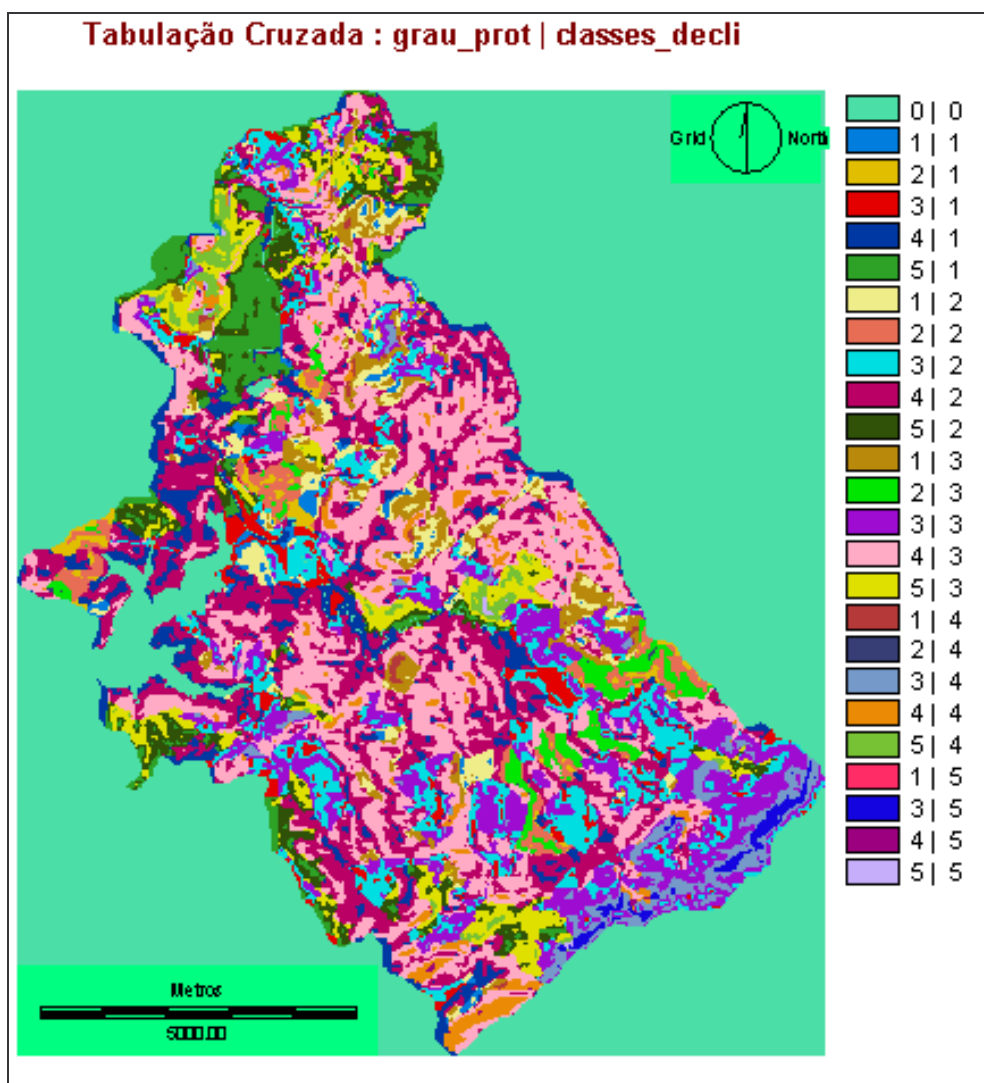


Fig. 8 - Mapa de potencial erosivo - 25 variações

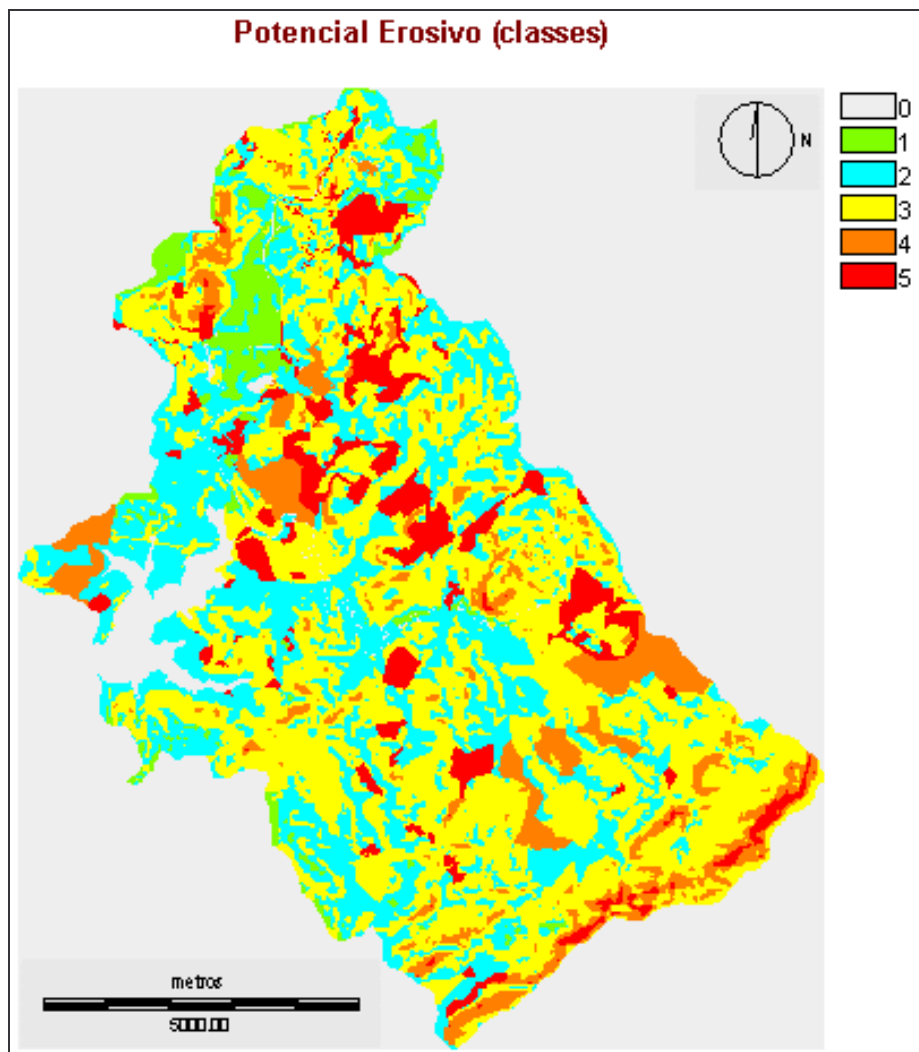


Fig. 9 - Mapa de potencial erosivo - 5 classes

O último passo da análise consistiu em identificar os potenciais erosivos por sub-bacia, o que pode facilitar o planejamento e a adoção de ações de controle para diminuir a geração de sedimentos.

Foram calculadas as médias do potencial erosivo por sub-bacia, ficando assim a distribuição:

1	2.6137633
2	3.1451721
3	2.6581333
4	3.0117345
5	2.9207416
6	3.2816367
7	2.9074278
8	2.9963510
9	2.9334838
10	1.8464500

11 2.5194871
12 3.0984132
13 3.2118697

Estes valores foram atribuídos a cada sub-bacia, gerando o mapa de potencial erosivo por sub-bacia. Valores maiores representam maior potencial erosivo e vice-versa. A figura 9 apresenta o mapa final da análise.

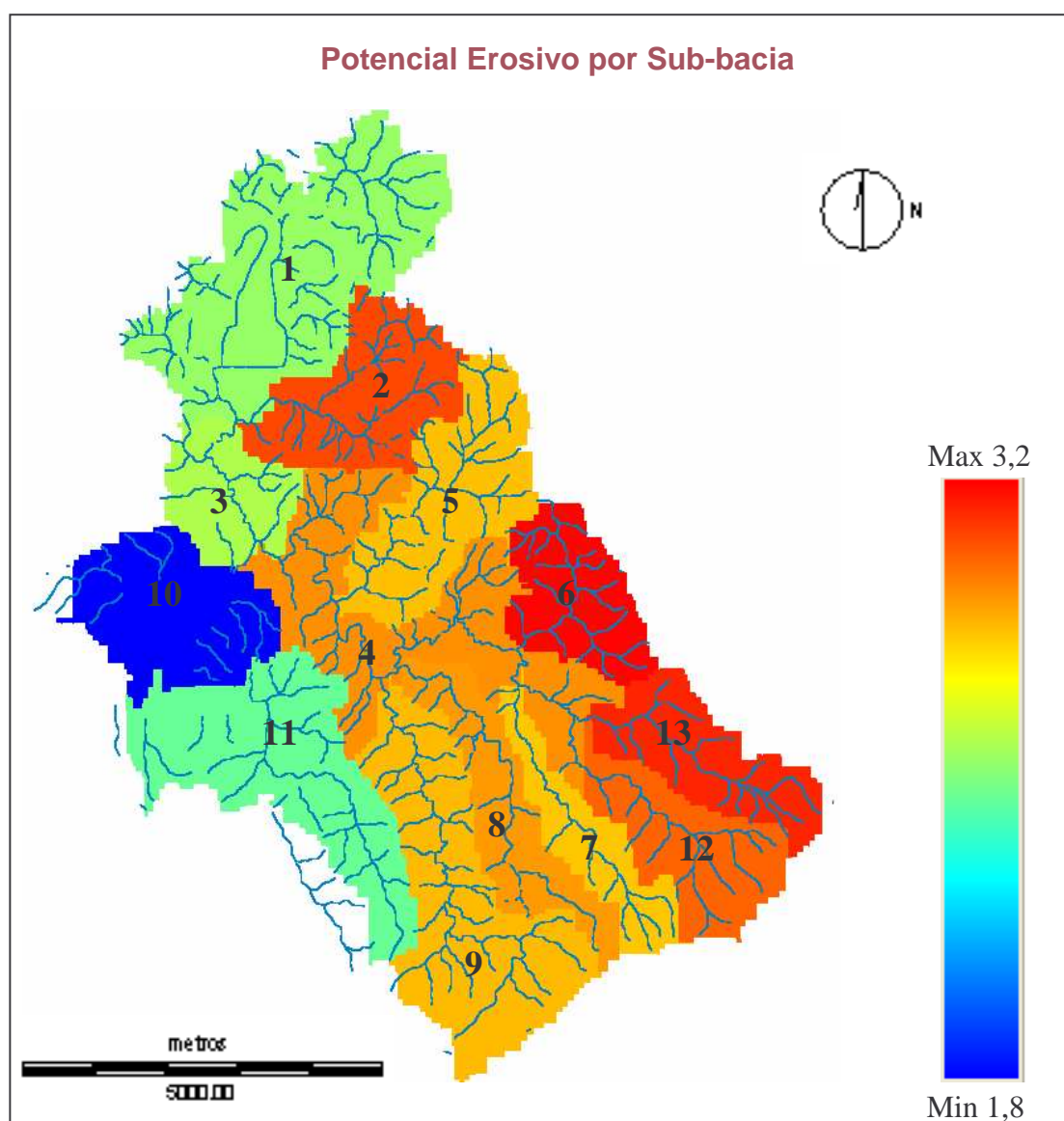


Fig. 10 - Mapa de potencial erosivo por sub-bacia

6.2 Macro do Idrisi com as operações realizadas

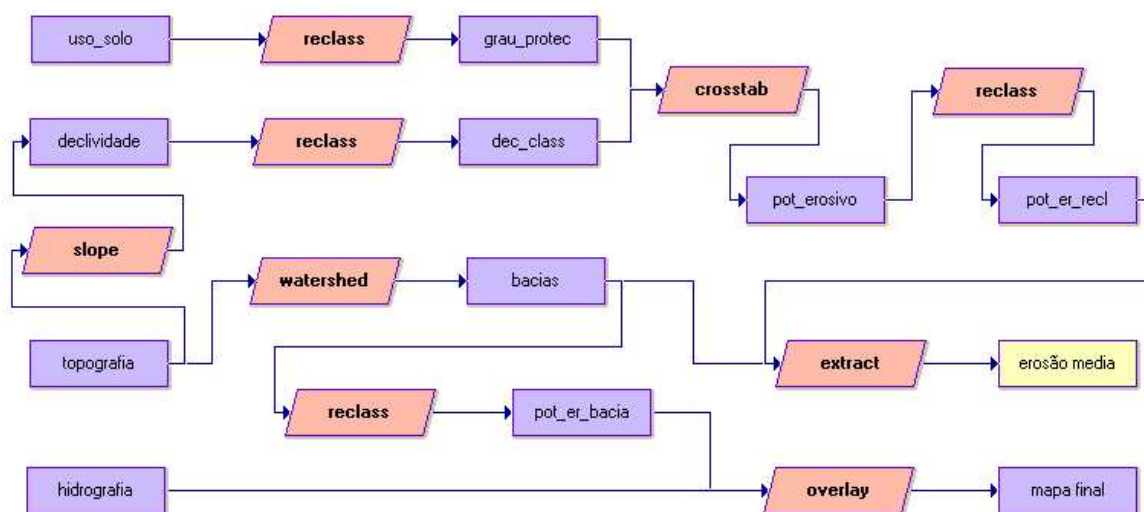


Fig. 11 - Macro do Idrisi com as operações realizadas

6.3 Análise dos resultados

As sub-bacias que apresentaram maior índice de potencial erosivo foram as de número 2, 6, 13, 12. Embora não se possa deixar de considerar a de número 4 que além de apresentar um índice elevado de potencial erosivo recebe a drenagem das bacias 6, 12 e 13.

A sub-bacia 2, embora seja um dos índices mais altos, tem sua drenagem para uma pequena lagoa que fica ao fundo da refinaria (lagoa de palmeiras) que serve de contenção intermediária. Isto acaba reduzindo sua contribuição para o processo de assoreamento da lagoa de ibirité, mas configura-se como uma preocupação para a primeira lagoa já citada .

A sub-bacia de número 10 obteve o menor índice de potencial erosivo, o que pode ser explicado pela razoável área de matas e monoculturas em seu entorno, além de baixos índices de declividade.

É interessante observar que as sub-bacias de maior contribuição não estão necessariamente relacionadas a grandes áreas de desmatamento ou solo exposto mas sim a áreas de ocupação urbana de baixo nível, loteamentos novos e cultura de hortaliças, ambos considerados como possuidores de pequeno grau de proteção contra a geração de sedimentos.

7 CONCLUSÃO

A análise permitiu alcançar os objetivos propostos de delimitar a área de influência, identificar e espacializar os pontos de maior contribuição para o processo de assoreamento da lagoa de Ibitiré.

Embora as ferramentas de geoprocessamento atuais se mostrem mais adequadas ao trabalho com grandes áreas e imagens de baixa resolução, conseguiu-se bons resultados nas análises e no cruzamento dos dados relativos a esta pequena bacia hidrográfica.

Longe de isolar os focos da geração de sedimentos, o que a análise mostrou foi que este problema é mais complexo do que o simples desmatamento em uma determinada área ou a exposição do solo em outra. Este, congrega um conjunto de atividades e intervenções que, só será minimizado com a evolução da consciência ambiental das pessoas, organização e planejamento da ocupação urbana e industrial além da delimitação e proteção de áreas críticas como encostas, margens de rios e suas nascentes.

Um programa de Educação Ambiental está se iniciando junto às comunidades do entorno das instalações industriais da Petrobras e lagoa. Pela análise realizada, este trabalho deverá abranger não somente o entorno mas toda a bacia de contribuição para o fenômeno.

Dentre as ações que podem contribuir para minimizar o processo, podemos citar:

- Recuperação das matas ciliares às margens dos cursos d'água e em regiões de grande declividade;
- Recuperação da vegetação nas cabeceiras dos rios e no entorno da lagoa;
- Criação de dispositivos que retenham os sedimentos antes que estes caiam na lagoa (contenções, barreiras), principalmente na região da sub-bacia 4;
- Adoção de medidas preventivas em operações de grande movimentação de solo (construções de indústrias, desmatamentos, loteamentos, abertura de estradas, etc.);

- Criação de alternativas à disposição de lixo próximo aos cursos d'água e no entorno da lagoa;
- Desenvolver processo educativo junto às escolas do bairro, sobre disposição do lixo, reciclagem, etc;
- Prover a região urbana de serviços de coleta de lixo e esgotos, evitando que estes cheguem à lagoa.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES, Alzir Felipe Buffara et al. **Análise de acurácia de mapa de uso do solo oriundo da classificação de imagens de alta resolução**. Universidade Federal do Paraná – UFPR, Departamento de Geomática. 2001.

ARAÚJO, Alex Maurício. **Evolução do processo de assoreamento em reservatório urbano**. Universidade Federal de Pernambuco. Departamento de Engenharia Mecânica - Grupo de Mecânica dos Fluidos Ambiental.

CÂMARA, Gilberto; DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio Miguel Vieira. **Introdução à ciência da geoinformação**. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/index.html>>. Acessado em 13/07/2004.

CARDOSO, Eriel Sinal; NETO, Pedro Braga. **Análise ambiental sobre o lago Paranoá**. Disponível em <<http://www.semarh.df.gov.br/site/cap07/04.htm>>. Acessado em 28/08/2004.

CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. **Monitoramento das águas e dos sedimentos na área de influência da Regap/Petrobras**. Belo Horizonte. 1995. Estudo técnico.

COUTINHO, Paulo et al. **A utilização de SIG para simulação espacial de descargas sólidas em suspensão nos principais rios brasileiros a partir da base de dados da Aneel (Agência Nacional de Energia Elétrica)**. Anais X SBSR, Foz do Iguaçu, Brasil, 21 - 26 abril 2001, INPE, p. 567 - 574.

FELGUEIRAS, Carlos Alberto. **Análise sobre Modelos Digitais de Terreno em ambiente de sistemas de informações geográficas**. Divisão de Processamento de Imagens – DPI do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

FUJIHARA, Alberto Kazuyoshi. **Predição de erosão e capacidade de uso do solo numa microbacia do oeste paulista com suporte de geoprocessamento**. Piracicaba, 2002. 136p. Dissertação (mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

Fundação João Pinheiro. **Zoneamento urbano-ambiental para o entorno da Regap e da UTE – Ibiritermo**. Belo Horizonte. 2001.

JACOBI, Pedro. **O assoreamento poderá extinguir e estagnar os nossos rios?** Disponível em <<http://www.geologo.com.br/assoreamento.asp>>. Acessado em 28/08/2004.

Jaakko Poyry - **EIA/RIMA Usina Termelétrica de Ibirité**. Betim.1997.

LEMOS, Poliana Costa; FERREIRA, Elizabeth. **Análise da relação das áreas de forte risco a erosão com os fragmentos de vegetação nativa arbóreas na área de influência da UHE-FUNIL**. Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05 - 10 abril 2003, INPE, p. 1323 - 1329.

MACHADO, Maria Márcia Magela. **Metodologia em Monografia**. Belo Horizonte. 2004. 30p. (Apostila do curso de Especialização em Geoprocessamento da UFMG/IGC)

MOURA, Ana Clara Mourão. **Geoprocessamento na gestão do planejamento urbano**. Belo Horizonte, Ed. da autora, 2003. xvi. 294p.: il.

Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Sado. **Anexo Temático 9 – Conservação da Natureza – Parte 4 – Erosão**. Portugal, 2001. Disponível em <http://www.drarn-a.pt/pbh/pbhsado/>. Acessado em

RENNÓ, Camilo Dalles; SOARES, João Viane. **Conceitos Básicos de Modelagem Hidrológica**.